

STROJNIŠKI VESTNIK

LETNIK 18

ljubljana, v MAJU 1972

ŠTEVILKA 3

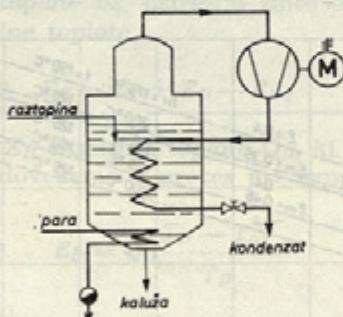
UDK 536.7:621.181.63:622.99

Izgube eksnergije pri termokompresiji*

MIRAN OPREŠNIK — MAJA LORBEK

V članku je prikazan vpliv temperature okolice, temperature vira odpadne toplotne, grelne temperature in razmerja toplot pri termokompresiji z mehanskim kompresorjem ter pri ejektorskih napravah še vpliv temperature delovnega sredstva na izgube eksnergije, ki naj bi bile čim manjše.

Od toplotnih črpalk, ki jih izkoriščamo v grelne namene, je posebno zanimiva termokompresija. Drugače kakor pri drugih toplotnih črpalkah pri termokompresiji ne potrebujemo nobenega posebnega delovnega sredstva. Termokompresija je primerna predvsem za razne uparjalne procese. Shematično je prikazan primer termokompresije na sliki 1. V uparjalniku je raztopina, ki jo je treba upariti. Vlažno paro, ki pri procesu uparjanja izhaja iz raztopine, komprimira kompresor na višji tlak in temu tlaku ustrezeno višjo temperaturo. Komprimirano paro vodimo nazaj v uparjalnik. Zaradi temperaturne razlike med komprimirano paro in raztopino prehaja toplota iz pare in uparja raztopino.



Sl. 1. Shematični prikaz termokompresije

Komprimirana para ob tem kondenzira, oddaja uparjalno toploto, kondenzat pa je končni produkt, ki ga želimo. Začetek uparjanja omogoča tuj toplotni vir (na risbi spodaj), s katerim pa dovajamo tudi potrebne količine dodatne pare, saj je količina vlažne pare, ki nastaja pri procesu, navadno manjša od količine potrebne grelne pare. Možne so seveda različne izvedbe. Na sliki je prikazan primer, ko termokompresor poganja elektromotor. V določenih primerih bolj ustreza batni kompresor. Kompresor pa lahko poganja tudi parna turbina, saj ob primerni izvedbi takšna turbina daje tudi potrebno dodatno paro. Kompresijo lahko izvedemo tudi z ejektorsko napravo. Katero od možnih izvedb izberemo,

je seveda odvisno od okoliščin, v katerih naj naprava obratuje.

Če se omejimo najprej na primer termokompresije z mehanskim kompresorjem, moramo ugotoviti, da je za pogon kompresorja potreben delo [1]

$$W_H = E_H - E_T + E_{izg} \quad (1)$$

Pri tem je E_H eksnergija potrebne grelne toplotne Q_H , ki jo potrebujemo pri grelni temperaturi T_H , E_T je eksnergija toplotne Q_T , ki je na voljo pri temperaturi T in E_{izg} so izgube eksnergije zaradi nepovračljivosti. Žal so vsi naravnici procesi nepovračljivi, zato so izgube eksnergije pomembno merilo pri termodynamični oceni procesov. Če v zgornji enačbi eksplicitno izrazimo izgube eksnergije in enačbo reduciramo na grelno toploto, dobimo

$$\frac{E_{izg}}{Q_H} = \frac{E_T}{Q_H} + \frac{W}{Q_H} - \frac{E_H}{Q_H} \quad (2)$$

Če upoštevamo, da je eksnergijski izkoristek [1] $\zeta = \frac{E_H}{E_T + W}$ ter eksnergija grelne toplote

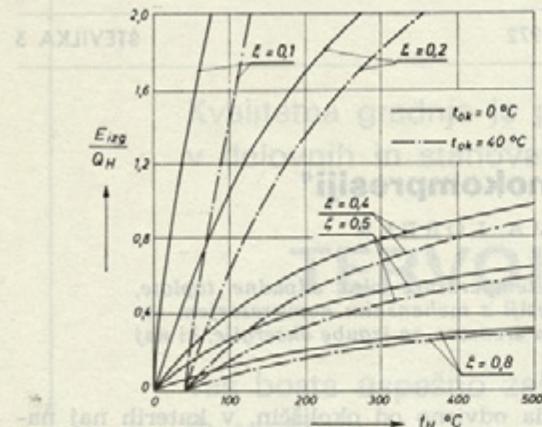
$$E_H = Q_H \frac{T_H - T_{ok}}{T_H} \quad (4)$$

dobimo iz enačbe (2), da je

$$\frac{E_{izg}}{Q_H} = \frac{T_H - T_{ok}}{T_H} \left(\frac{1}{\zeta} - 1 \right) \quad (5)$$

Iz diagrama na sliki 2 je razvidno, da izgube eksnergije naraščajo z naraščanjem grelne temperature pri konstantnem eksnergijskem izkoristku. Naraščanje izgub s porastom grelne temperature je posebno veliko pri manjših eksnergijskih izkoristkih. Izgube pa so pri enakih eksnergijskih izkoristkih manjše, čim višja je temperatura okolice. Vpliv temperature okolice je manjši pri višjih grelnih temperaturah.

* Članek je izvleček iz obširne naloge: Kvalitativno ocenjevanje termokompresije, ki sta jo finančno omogočila Sklad Borisa Kidriča in republiška izobraževalna skupnost. Obema sta avtorja sodelavci dolžna zahvalo.



Sl. 2. Izgube eksergije v odvisnosti od grelne temperaturе

V enačbo (5) pa lahko vstavimo eksergijski izkoristek, ki ga izrazimo z ustreznimi temperaturami in razmerjem toplot ξ [1]

$$\zeta = \frac{T_H - T_{ok}}{T_H} \frac{T}{T - \xi T_{ok}} \quad (6)$$

Pri tem je razmerje toplot definirano s kvocientom med odpadno in grelno toplopo.

$$\xi = \frac{Q_T}{Q_H} \quad (7)$$

Izraz odpadna toplopa se je ustalil za toplopo, ki jo lahko pridobimo iz notranje energije sistema, ki je za namene osnovnega procesa že oddal potrebni delež energije. Kot takšen torej sistem za osnovni proces ni več uporaben in njegovo stanje navadno izenačimo s stanjem okolice, ne da bi izkoristili del eksergije, ki je v takšnem sistemu. Prednost termokompresije je ravno v tem, da ta del izkoristi. Vstavimo torej enačbo (6) v enačbo (5), pa dobimo izgube eksergije, izražene s temperaturami in razmerjem toplot

$$\frac{E_{izg}}{Q_H} = T_{ok} \left(\frac{1}{T_H} - \frac{\xi}{T} \right) \quad (8)$$

Iz enačbe jasno izhaja, da so izgube eksergije odvisne od temperaturje okolice T_{ok} , grelne temperaturje T_H , temperaturje vira odpadne toplope T in razmerja toplot ξ . V diagramu na sliki 3 so prikazane izgube eksergije, reducirane na grelno toplopo, v odvisnosti od temperaturje okolice. Iz diagrama je razvidno, da z naraščajočo temperaturo okolice naraščajo tudi izgube, in sicer tem bolj, čim nižja je pri sicer enakih ostalih pogojih grelna temperatura. Izgube so manjše pri večjih razmerjih toplot.

Oglejmo si še vpliv temperaturje vira odpadne toplope, in sicer na srednjem snopu krivulj! Izberimo v ta namen grelno temperaturo $t_H = 175^{\circ}\text{C}$ pri $\xi = 0.6$, za temperaturo vira odpadne toplope pa vze-

mimo enkrat $t = 150^{\circ}\text{C}$ in drugič $t = 125^{\circ}\text{C}$. Pri dani grelni temperaturi in danem razmerju toplot so izgube eksergije manjše pri nižji temperaturi vira odpadne toplope, kar je razvidno iz položaja krivulj. Direktna primerjava pa ne daje jasne predstave. Zavedati se je namreč treba, da je maksimalno možno razmerje toplot v najugodnejših (idealnih) razmerah [2]

$$\xi_{max} = \frac{T}{T_H} \quad (9)$$

večje pri višji temperaturi vira odpadne toplope. Za naš primer je $\xi_{max}(175; 150) = 0.95$ in $\xi_{max}(175; 125) = 0.89$. Izbrana vrednost razmerja toplot $\xi = 0.6$ je torej v drugem primeru pri nižji temperaturi vira odpadne toplope bliže maksimalni vrednosti. Da bi bila primerjava realna za vse primere, uvedemo modificirano razmerje toplot [3]

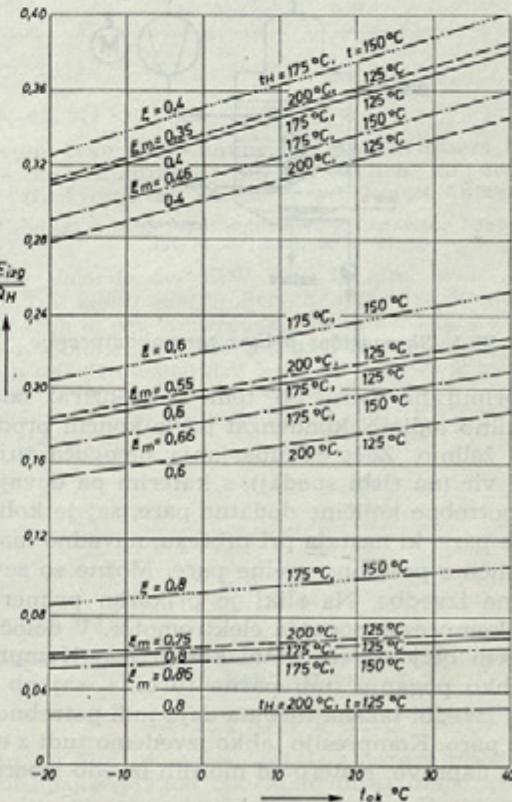
$$\xi_m = \xi_{max} - a \quad (10)$$

Pri tem je a za vse obravnavane primere enak. Za naš primer je

$$a = \xi_{max}(175; 150) - \xi = 0.95 - 0.6 = 0.29$$

in

$$\xi_m(175; 150) = \xi_{max}(175; 150) - a = 0.66 .$$



Sl. 3. Izgube eksergije pri termokompresiji z mehanskim kompresorjem v odvisnosti od temperature okolice

Iz diagrama je razvidno, da leži krivulja z modifiranim razmerjem toplot pri višji temperaturi vira odpadne toplotne pod ustrezeno krivuljo pri nižji temperaturi. To pa pomeni, da so izgube ekservije pri višjih temperaturah vira odpadne toplotne manjše.

Podobno lahko raziščemo vpliv sprememb temperature gretega sistema. Ta vpliv raziščimo za temperaturo vira odpadne toplotne $t = 125^\circ\text{C}$ in za grelni temperaturi $t_H = 175^\circ\text{C}$ in 200°C pri enakem razmerju toplot $\xi = 0,6$. Modificirano razmerje toplot je v tem primeru $\xi_m = 0,55$. Položaj krivulj v diagramu pokaže, da so izgube ekservije pri sicer enakih ostalih pogojih večje, čim višja je temperatura gretega sistema. To je ponovno opozorilo, da naj po nepotrebnem ne izbiramo previsokih grelnih temperatur.

V diagramu sta vrnsana še dva snopa krivulj za sicer enake temperaturne pogoje, vendar za različne vrednosti razmerja toplot. Iz položaja krivulj jasno izhaja, da izgube ekservije z naraščajočo temperaturo okolice naraščajo tem hitreje, čim manjše je razmerje toplot.

Pri termokompresiji z ejektorsko napravo dovajamo potrebni delež ekservije z delovnim tokom. Ta delež ekservije mora biti tolikšen, da z ekservijo odpadne toplotne in s pokritjem izgub ekservije zradi nepovračljivosti dobimo potrebni delež ekservije grelne toplotne oz. ustrezeno zmes ekservije in anergije grelne toplotne.

$$E_H = E_T + E_D - E_{izg} \quad (11)$$

V enačbi je E_D ekservija toplotne Q_D , ki jo z delovnim tokom dovedemo v proces pri temperaturi T_D .

$$E_D = Q_D \frac{T_D - T_{ok}}{T_D} \quad (12)$$

Iz enačbe (11) izrazimo eksplisitno izgube ekservije in jih reduciramo na grelno toploto

$$\frac{E_{izg}}{Q_H} = \frac{E_T}{Q_H} + \frac{E_D}{Q_H} - \frac{E_H}{Q_H} \quad (13)$$

Če upoštevamo, da je ekservija odpadne toplotne

$$E_T = Q_T \frac{T - T_{ok}}{T} \quad (14)$$

da smo ekservijo grelne toplotne izrazili z enačbo (4), ekservijo delovne toplotne pa z enačbo (12) in če uvedemo še razmerji toplot

$$\xi_1 = \frac{Q_T}{Q_H} \quad (15)$$

in

$$\xi_2 = \frac{Q_D}{Q_H} \quad (16)$$

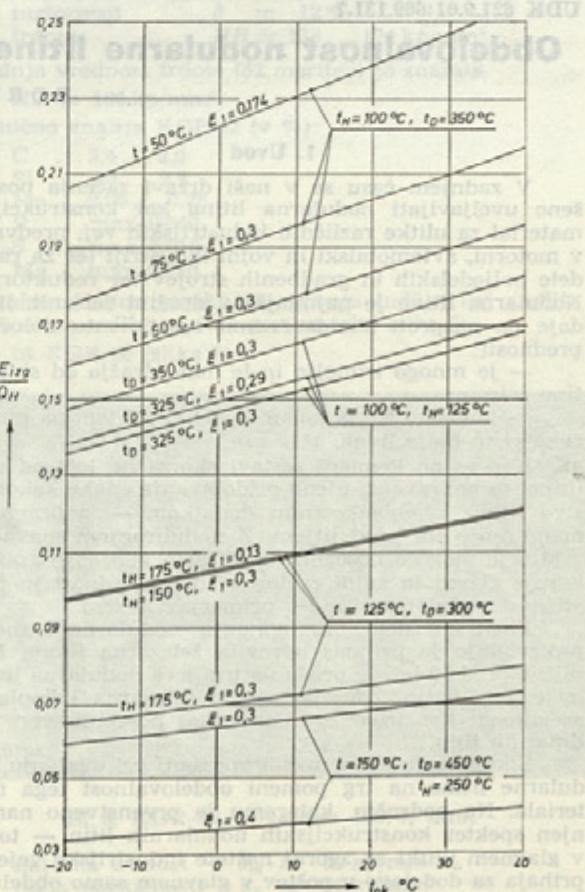
pri čemer je

$$\xi_1 + \xi_2 = 1 \quad (17)$$

lahko izrazimo reducirane izgube ekservije tudi z naslednjo enačbo

$$\frac{E_{izg}}{Q_H} = T_{ok} \left[\left(\frac{1}{T_H} - \frac{1}{T_D} \right) - \xi_1 \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_D} \right) \right] \quad (18)$$

V diagramu na sliki 4 so prikazane reducirane izgube ekservije v odvisnosti od temperaturo okolice pri različnih ostalih parametrih. Izgube naraščajo s temperaturo okolice. Spodnji premici kažejo, da so izgube tem večje, čim manjše je razmerje toplot ξ_1 . Nad tem dvema premicama je skupina premic, ki kažejo, kako se spreminja izgube ekservije s temperaturo gretega sistema. Ob upoštevanju modificiranega razmerja toplot je jasno razvidno, da so izgube ekservije večje pri višji grelni temperaturi. V naslednji skupini teh premic spremljamo izgube ekservije ob spremembami delovne temperature. Tudi tu ugotovimo, da so izgube ob upoštevanju modificiranega razmerja toplot večje pri višji temperaturi delovnega sredstva. Zgornja skupina treh premic ponazarja izgube ekservije pri različnih temperaturah vira odpadne toplotne. Čim nižja je



Sli. 4. Izgube ekservije pri termokompresiji z ejektorsko napravo v odvisnosti od temperaturo okolice

temperatura vira odpadne toplotne, tem večje so izgube eksergije pri sicer enakih ostalih pogojih.

Če upoštevamo eksergijski izkoristek [1]

$$\zeta = \frac{E_H}{E_T + E_D} \quad (19)$$

lahko enačbo (13) zapišemo tudi v naslednji obliki

$$\frac{E_{tg}}{Q_H} = \frac{T_H - T_{ok}}{T_H} \left(\frac{1}{\zeta} - 1 \right) \quad (20)$$

Ta enačba pa je v celoti identična z enačbo (5), ki smo jo dobili pri termokompresiji z mehanskim kompresorjem. Ustrezen komentar smo podali že ob diagramu na sliki 2.

Vsi naravni procesi so nepovračljivi. Izgube eksergije pomenijo izgubljeno delo, ki bi ga sicer lahko pridobili, če bi znali procese voditi povračljivo. Pri termokompresiji pa je zaradi izgube eksergije potrebno vložiti več dela v proces. Zato seveda težimo za tem, da bi bile izgube eksergije čim manjše. V ta namen je koristno, če so razmerja toplot čim večja, če so temperature okolice čim

UDK 621.9.01:669.131.7

nižje (o izboru temperature okolice glej [4]), če je temperatura vira odpadne toplotne višja, če so grelne temperature nižje in pri ejektorskih napravah, če so temperature delovnega sredstva nižje. Te vplive bi morali pri projektiranju in obratovanju ustreznih naprav stalno upoštevati.

LITERATURA

[1] Oprešnik, M.: Exergetischer Wirkungsgrad einer Wärmepumpe bei Abwärmeverwertung. *Brennst.-Wärme-Kraft* 21 (1969), št. 5, 255—258.

[2] Oprešnik, M.: Wärmepumpen zur Nutzung von Abwärme. *Maschinenmarkt*, Würzburg 75 (1969), št. 81, 1786—87.

[3] Oprešnik, M., M. Lorbek: Einfluß einzelner Größen auf den exergetischen Wirkungsgrad bei der Thermokompression. *Brennst.-Wärme-Kraft* 22 (1970), št. 10, 481—483.

[4] Oprešnik, M.: Izbor temperature okoline kod kvalitativnog ocenjivanja toplotne pumpe. *Tehnika XXV* (1970), št. 4, 639—643.

Naslov avtorjev:

prof. dr. Miran Oprešnik,
Fakulteta za strojništvo
Univerze v Ljubljani in
dipl. ing. Maja Lorbek,
Zavod za hladilno tehniko
pri LTH, Škofja Loka

Obdelovalnost nodularne litine v primerjavi s sivo litino in jeklom

BORUT JUSTIN

1. Uvod

V zadnjem času se v naši državi začenja pospešeno uveljavljati nodularna litina kot konstrukcijski material za ulitke različnih industrijskih vej, predvsem v motorni, avtomobilski in vojni industriji ter za razne dele poljedelskih in gradbenih strojev ter reduktorjev. Nodularna litina je najmlajša v družini železnih litin, daje pa nasproti standardnemu assortimentu določene prednosti:

— je mnogo trdnejša in le malo dražja od sive litine oziroma

— je enako trdna kakor jeklena, pri tem pa precej cenejša in bolje livna.

Ker se po kemični sestavi skoraj ne loči od sive litine, so naprave za njen pridobivanje enake kakor za sivo litino z malenkostnim dodatkom — napravo za noduliranje tik pred litjem. Z noduliranjem (navadno z Mg) je mogoče dosegati krogličasto izločanje grafita, kar je glavni in edini razlog za dobro trdnost in plastičnost nodularne litine v primerjavi s sivo.

Pionirske delo pri uvajanju nodularne litine v proizvodnjo je pri nas opravila železarna Store. Pričilo pred 10 leti je prišla na trg prva nodularna litina iz tega podjetja. Zdaj ponuja ta železarna kompleten assortiment konstrukcijskih in nekaj posebnih vrst nodularnih litin.

Eno glavnih ekonomskih vprašanj pri uvajanju nodularne litine na trg pomeni obdelovalnost tega materiala. Na področju, kateremu je prvenstveno namejen spekter konstrukcijskih nodularnih litin — to so v glavnem ulitki za zgoraj naštete industrijske veje — prihaja za dodelavo v poštov v glavnem samo obdelava z odrezavanjem in včasih brušenjem. Zategadelj je obdelovalnost z odrezavanjem včasih ključno vprašanje zlasti v primerjavi s konkurenčnimi materiali — sivo

litino in jeklom. Namen tega dela je bil ugotoviti obdelovalnost različnih nodularnih litin, sive litine in jekla pri grobem struženju ter primerjati dobljene rezultate med seboj.

2. Eksperimentalna oprema, material in pogoji dela

2.1. Eksperimentalna oprema.

Preskuski so bili opravljeni na eksperimentalni stružnici ES I na Inštitutu za strojništvo. Stružnica je izdelek inštituta in ima niže navedene karakteristike.

Pogonski agregat Ward-Leonardo, 20 kW z brezstopenjsko regulacijo hitrosti vrtenja glavnega vretena 10...4500 vrt/min, 24 stopenj podajanja od 0,02 mm/vrt do 1,5 mm/vrt ter možnost za vpenjanje obdelovancev do dimenzij $\varnothing 500 \times 1000$ mm. Stružnica se po konstrukciji precej razlikuje od navadne, ker je namenjena zgolj za opravljanje preskusov.

Posebnost stružnice je tudi konjiček z vgrajenim dinamometrom. Prek njega je mogoče med delom ročno vzdrževati konstantno pritisno silo na obdelovanec. S tem se kompenzirajo napetosti zaradi termičnih dilatacij pri obdelavi, ki bi sicer lahko spreminalje napetostno stanje stroja.

Obodno hitrost merjenja smo spremajali s kolutnim tahometrom, čas pa z laboratorijsko stoparico.

Obrabo orodja na prosti ploskvi smo razbirali z orodjarskim mikroskopom Zeiss z 21-kratno povečavo. Za natančno nastavljanje orodij pod mikroskop imamo izdelano zibko, ki omogoča nagibanje v vseh treh smereh.

Kotanasto obrabo smo otipavali z iglo s pomočjo doma izdelane naprave, katere signal smo z induktivno merilno dozo ojačili ter ga prek ojačevalnika (Hottinger & Baldwin) vodili na pisalni instrument (Hottinger & Baldwin), ki je risal ojačeni profil otipane površine.